第３講　興奮の伝導，伝達

【1】　運動神経の末端は狭いすき間を介して筋肉と接しており(神経筋接合部)，この部分は神経と神経の接合部と同様に〔　1　〕と呼ばれる。運動神経が刺激され興奮が神経末端まで到達すると神経伝達物質であるアセチルコリンが〔　1　〕間隙に放出され，筋繊維膜上の受容体に結合し，陽イオンであるカリウムならびに〔　2　〕の透過性が増大する。その結果，筋繊維には終板電位と呼ばれる電位変化が生じ，運動神経の興奮が筋繊維に〔　3　〕される。この終板電位が閾値を越えると筋繊維に〔　4　〕が発生し，筋収縮が生じる。

1950年代，ロンドン大学のバーナード・カッツらは，カエルの神経筋標本の運動神経(坐骨神経)が接している部分の筋繊維に記録電極を刺してその膜電位を測る実験を行っていた(図１)。その際，運動神経を電気刺激していないのに筋繊維に終板電位の$\frac{1}{100}$程度(0.4mV)の小さい電位が自発的に不規則に発生していることに気づき，終板電位と同じ性質をもつことから微小終板電位と名づけた。彼らは当初，0.4mVの微小終板電位がアセチルコリン１分子に対する筋繊維の反応の大きさであると考えた。アセチルコリンは正の電荷を持っているので，アセチルコリンをつめた微小ガラス管の内から外に向かって電流を流すことによってアセチルコリンを流出させることができる(図１)。そこで，(a)アセチルコリンをつめた微小ガラス管を神経筋接合部の外表面に置き，電流を流すことによりアセチルコリン複数分子を与えたところ，0.4mVより小さな振幅の電位が得られた。さらにアセチルコリン１分子が筋繊維に引き起こす反応は0.3μV程度であることが後になって判明した。

カッツの研究グループはさらにネコの神経筋標本を用いて運動神経の電気刺激によって生じる終板電位の測定を行った。通常の実験条件で運動神経を電気刺激すると終板電位は閾値を越えて〔　4　〕を発生し，終板電位の振幅の測定は困難になってしまう。(b)そこで外液のカルシウムイオン濃度を低くして実験を行った。このような処置をすると運動神経の電気刺激によって発生する終板電位の振幅は小さくなり，閾値に達しなくなった。しかし，微小ガラス管を使ってアセチルコリンを与えた場合は，筋繊維の反応に影響はなかった。このようにして終板電位を何度も発生させ，終板電位の振幅を横軸に，その振幅での出現回数を縦軸にとってヒストグラムを作った(図２)。カッツはこれらの実験結果より神経終末からの神経伝達物質の放出に関する仮説を立て，その後ノーベル賞を得るに至った。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

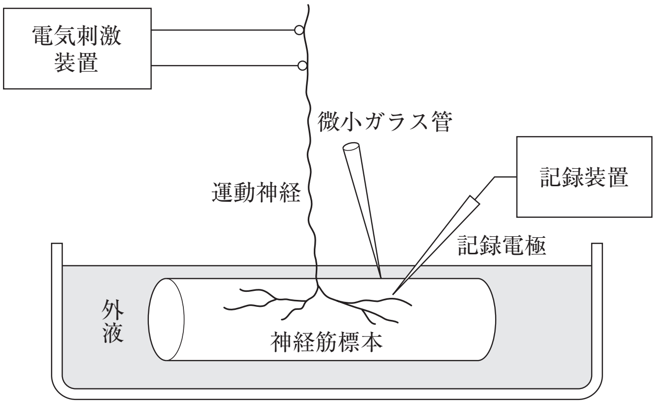

図１　実験装置の模式図

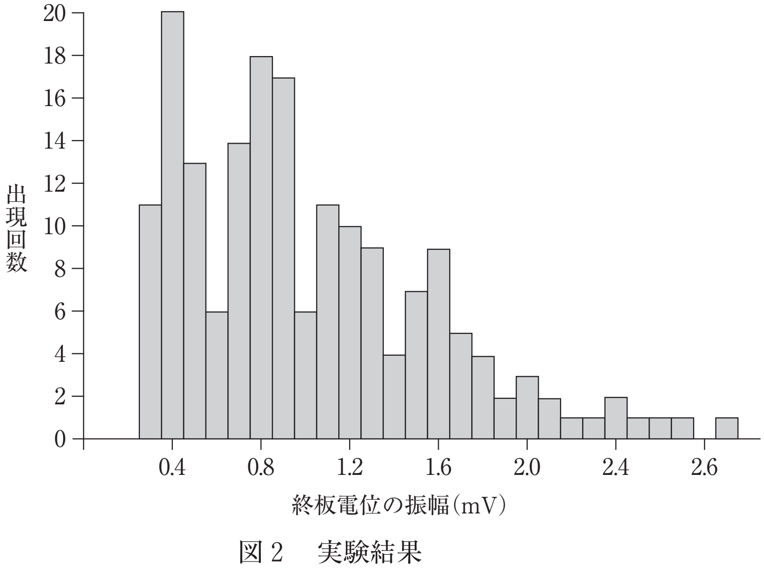

図２　実験結果

問１　文章中の〔　1　〕～〔　4　〕に当てはまる最も適当な語句を記入しなさい。

問２　下線部(a)より，0.4mVの微小終板電位はアセチルコリン何分子に対する筋繊維の反応と考えられるか。有効数字２桁で答えなさい。アセチルコリンの拡散による消失や分解酵素の影響はないものとする。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３　アセチルコリンをつめた微小ガラス管を筋繊維に刺して，アセチルコリンを筋繊維の内部に注入した場合の予測される結果としてもっとも適切なものを(ア)〜(エ)から１つ選び，記号を記入しなさい。

(ア)　外表面に与えた場合よりも大きな電位変化が得られる。
(イ)　外表面に与えた場合よりも小さな電位変化が得られる。
(ウ)　外表面に与えた場合と同じ電位変化が得られる。
(エ)　筋繊維に電位変化はほとんど生じない。

問４　下線部(b)のような条件で実験を行うとなぜ終板電位は閾値にまで達しにくくなると考えられるか。以下の(ア)〜(エ)からもっとも適切なものを１つ選び，記号を記入しなさい。

(ア)　興奮が神経末端にまで到達しなくなるため。
(イ)　放出されるアセチルコリンの量が減少するため。
(ウ)　アセチルコリンの分解が抑制されるため。
(エ)　アセチルコリンの受容体への結合が阻害されるため。

問５　下線部(b)のような外液においても筋繊維を直接刺激すると収縮が生じた。この理由として(ア)〜(エ)からもっとも適切なものを１つ選び，記号を記入しなさい。

(ア)　収縮にカルシウムイオンは必要でないため。
(イ)　直接刺激による収縮にカルシウムイオンは必要でないため。
(ウ)　カルシウムイオンは必要だが，筋小胞体より供給されるため。
(エ)　カルシウムイオンは必要だが，ミトコンドリアより供給されるため。

問６　図２より微小終板電位と終板電位の振幅の大きさにはどのような関係が認められるか。また，そのことからアセチルコリンの放出に関してどのようなことが推察できるか。100字以内で記述しなさい。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

【2】 神経と骨格筋の機能の実験に関する次の文を読み，以下の問に答えなさい。なお，同じ選択肢を複数回答えてもよい。

カエルより脊髄神経繊維束と座骨神経繊維束および骨格筋を摘出した。図1Aに示すように，座骨神経繊維束の中枢側の一部を脊髄腹根側と背根側に分け，神経繊維には電気刺激電極や記録電極となる5つの電極(E1〜E5)，骨格筋には張力測定器を装着し，興奮の伝導と筋収縮に関する実験を行った。図1Bには座骨神経繊維束を構成する個々の神経繊維の直径と，活動電位を発生させる刺激の最小値である閾値（いきち）の関係をグラフで表した。また，図1Cに示すように，E3において１回の電気刺激を加えた時に，細胞外記録電極E4で測定される波形(図中のα)は，興奮にともなう神経繊維束の電位変化を表しており，その大きさは神経繊維束を構成する個々の神経繊維が発生する活動電位が足し合わされたもの(複合活動電位)である。なお，E1が装着してある脊髄腹側神経繊維束の末端部位(図1Aの破線部分)は，直径が異なる5本の神経繊維だけにして他の繊維は切断してある。

以下の設問１〜７の実験では，電気刺激の強さの最大値は神経繊維束のすべての神経繊維が興奮するのに十分な強さを越える値とした。

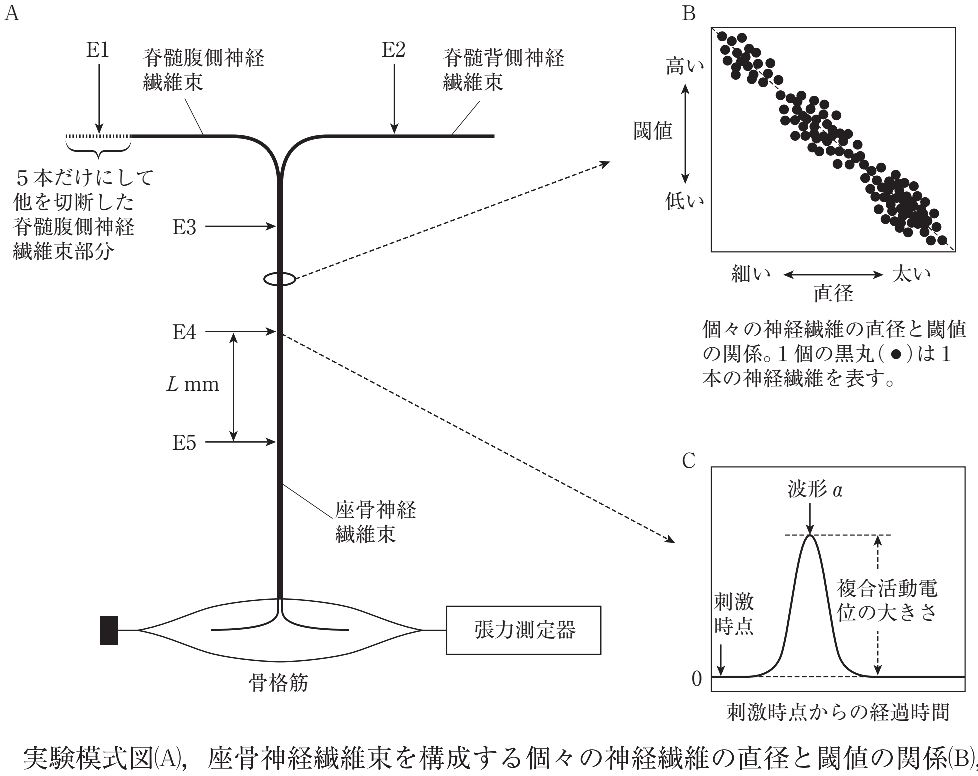

図１　実験模式図(A)，座骨神経繊維束を構成する個々の神経繊維の直径と閾値の関係(B)，複合活動電位の測定例(C)

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問１　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)とE4で記録された複合活動電位（波形α）の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図２より答えなさい。

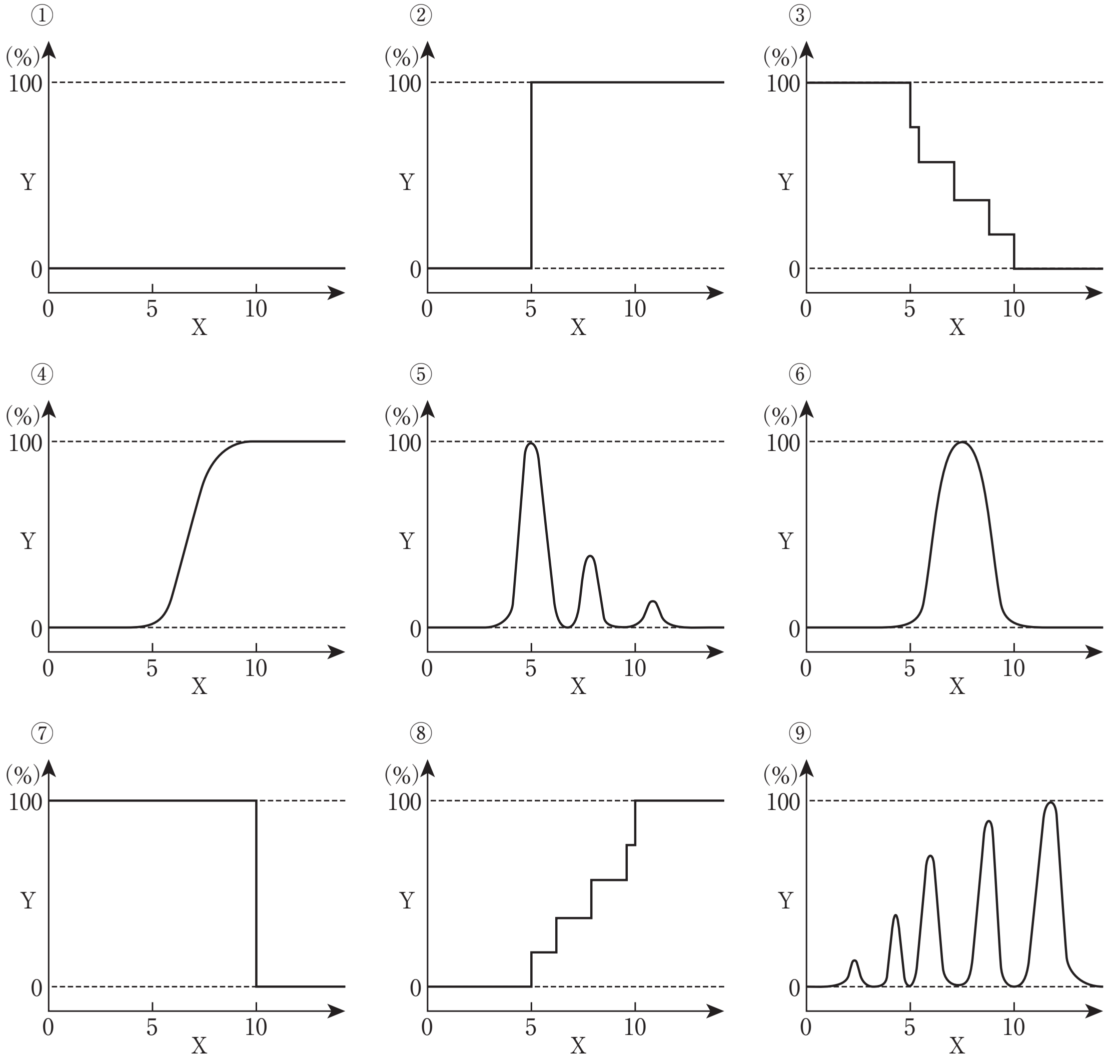

図２　刺激強度(X)と測定値(Y)の関係

X軸は刺激の相対強度，Y軸はそれぞれの実験で得られた測定値の最大値を100％とした場合の相対値を表す。

問２　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)とE1で記録された複合活動電位（波形α）の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図2より答えなさい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３　E1を刺激電極にして神経繊維束部分を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図２より答えなさい。

問４　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図２より答えなさい。

問５．E2を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図２より答えなさい。

問６　E3を刺激電極にして図1Cよりも刺激を強めると，E4において波形βが新たに現れ，さらに刺激を強めると，図3Aに示すように刺激時点から検出された時点までの経過時間が異なる３種類の複合活動電位（波形α，β，γ）が部分的に重なったものが観察できた。図3Aの場合と同じ刺激強度の条件でE4からＬmm離れたE5で測定すると，図3Bに示すように３種類の波形の時間間隔はさらに拡がった。刺激時点からそれぞれの波形の頂点（図中の•）が検出された時点までの経過時間を図３の数値（単位はミリ秒）から読み取り，以下の問に答えなさい。

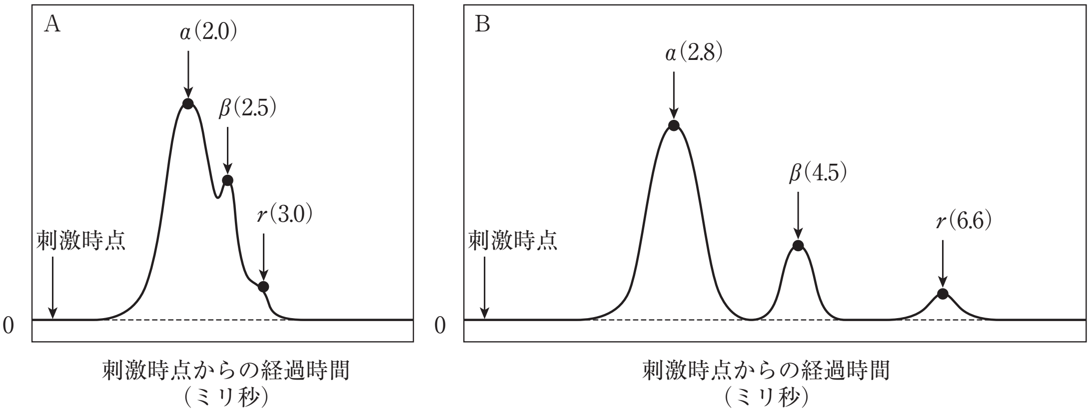

図３　E3を刺激した場合に記録電極E4(A)および記録電極E5(B)で観察された座骨神経繊維束の複合活動電位
（　）内の数値は，刺激時点からそれぞれの波形の頂点（図中の •）が検出された時点での経過時間（ミリ秒）を示す。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑴　座骨神経繊維束の構成神経繊維のうち，波形βを生じさせる神経繊維の平均伝導速度が18m/秒であったとすると，E4とE5の間の距離Lは何mmか。

⑵　E4とE5の間において，波形γ を生じさせる神経繊維の平均伝導速度は波形αを生じさせる神経繊維の平均伝導速度の何倍か。最も適した数値を答えなさい。

② $\frac{1}{5}$　② $\frac{2}{9}$　③ $\frac{1}{4}$　④ $\frac{2}{7}$　⑤ 2.5　⑥ 3.0
⑦ 3.5　⑧ 4.0　⑨ 4.5　⑩ 5.0

問７　座骨神経繊維束を構成している個々の神経繊維についての記述として適切なものを答えなさい。

A．直径が太い神経繊維ほど，伝導速度は遅くなる。
B．直径が太い神経繊維ほど，伝導速度は速くなる。
C．閾値が高い神経繊維ほど，伝導速度は遅くなる。
D．閾値が高い神経繊維ほど，伝導速度は速くなる。

①　Aのみ　②　Bのみ　③　Cのみ　④　Dのみ　⑤　A，C
⑥　A，D　⑦　B，C　⑧　B，D

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　確認テスト

角膜－水晶体－ガラス体を透過した光は，網膜に投影され，網膜上にある視細胞により受容される。視細胞は，光に対する応答性と形の違いから［ア］と［イ］の２つに区別できる。［ア］には青色，緑色，赤色の光をよく吸収する色素をもつ3種類があり，これらの細胞は，［ウ］と呼ばれる視軸の中心部付近に多く存在している。視細胞で感知された光情報は，連絡神経細胞を介して視神経細胞へと受け渡される。視神経細胞の［エ］は，網膜上の一箇所に集まり，束となって網膜を貫き，脳へと接続する。この場所は，［オ］と呼ばれ，視細胞が存在していないため，光の受容ができない。

問１　文中の［ア］～［オ］に最も適切な用語をそれぞれ１つずつ選べ。

［ア］　①　色素細胞　②　かん体細胞　③　コルチ器官　④　錐体細胞

［イ］　①　マイスナー小体　②　虹　彩　③　錐体細胞　④　かん体細胞

［ウ］　①　盲　斑　②　卵円窓　③　黄　斑　④　毛様体

［エ］　①　軸　索　②　シナプス　③　樹状突起　④　視　索

［オ］　①　盲　斑　②　中心窩　③　樹状突起　④　脈絡膜

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　下の図は，ヒト視細胞の波長感受性を示したものである。

・ ア の視細胞の波長感受性に相当するものをすべて選べ。
・ イ の視細胞の波長感受性に相当するものをすべて選べ。

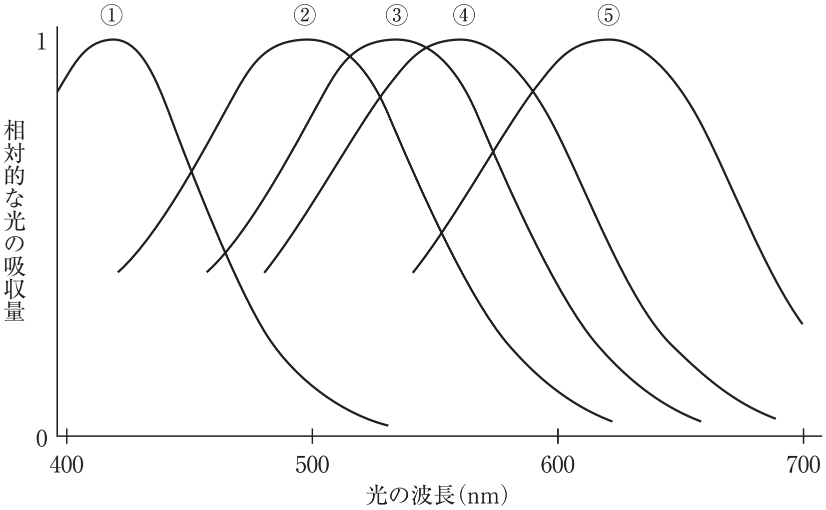

図１

問３　網膜上の オ の位置を調べるために以下の実験を行った。被験者の眼球の直径を25mmとした場合，以下の問に答えよ。

記録用紙(下図)を，＋印(注視点)が被験者の右目の真正面50cmの位置にくるように固定する。被験者は，左目を完全に手で覆い，注視点を右目でみつめる。試験者は，被験者に注視点を見つめさせたまま，指示棒を注視点からゆっくりと右に動かし，指示棒の先端が被験者から見えなくなった位置Aと再び見えはじめた位置Bを記録した。その結果，Aは注視点から8cmの位置に，Bは，注視点から11.2cmの位置にあることがわかった。

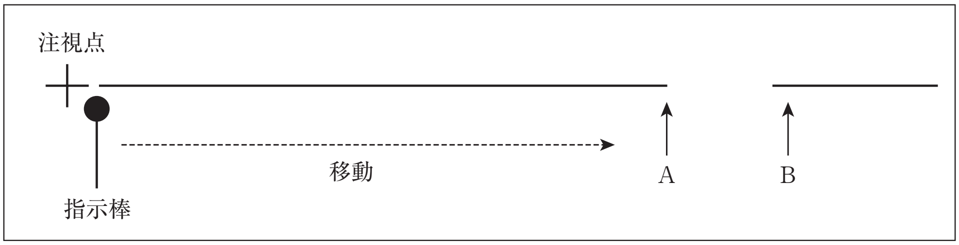

図２

オ の直径に最も近い値を選べ。

①　1.0mm　　②　1.2mm　　③　1.4mm　　④　1.6mm

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問４　被験者の正面に①から⑨までの番号を書かれた紙が等間隔でならべられている。向かって左端の紙に①，右端の紙に⑨と書かれている場合，被験者が眼球を動かさずに正面をみると，②〜⑧の紙を見ることができる。また，このとき，左目を閉じると③〜⑧の紙だけが，右目を閉じると②〜⑦の紙だけが見える。

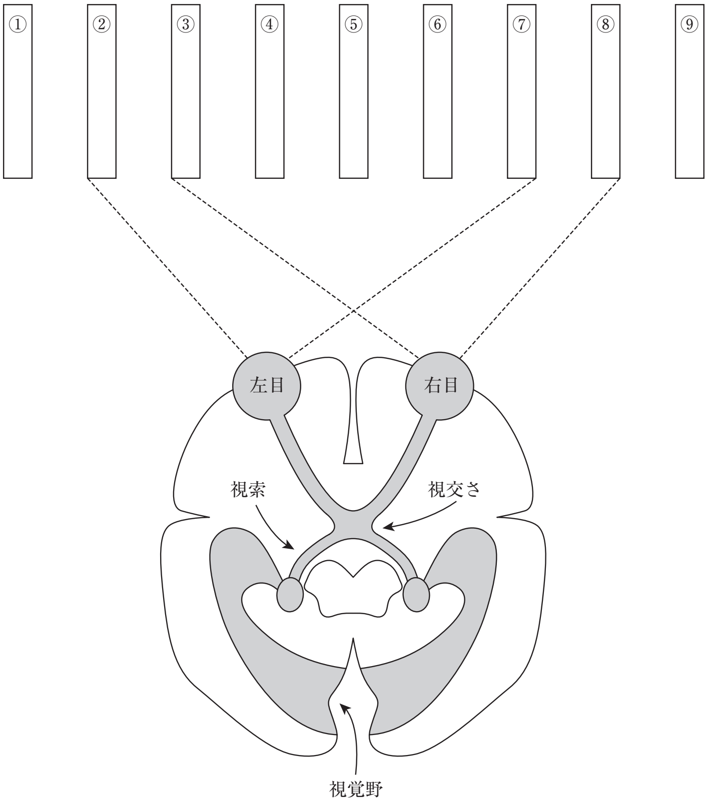

図３

以下の(1)〜(3)に答えよ。ただし，被験者は，眼球を動かさずに正面をみることとする。

(1)　右目を閉じたときに被験者の左脳の視覚野に提示される番号はどれか，①〜⑨からすべて選べ。

(2)　被験者の視交さにおいて，交差している神経繊維のみが切断された場合，被験者が見ることができる番号はどれか，①〜⑨からすべて選べ。

(3)　被験者の左脳の視索が切断された場合，左目のみで見ることができる番号はどれか，①〜⑨からすべて選べ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第3講

【1】

問1　1　シナプス
　　2　ナトリウム(イオン)
　　3　伝達
　　4　活動電位

問2　1.3×10^{3}[分子]

問3　(エ)

問4　(イ)

問5　(ウ)

問6　終板電位は微小終板電位の整数倍で構成されており，このことから神経伝達物質は微小終板電位を発生させるのに要する約1300分子を単位として神経末端から放出されると考えられる。

【2】

問1　④　問2　⑧　問3　⑧　問4　④　問5　①

問6　(1)　36mm　(2)　②

問7　⑦

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　確認テスト

問１　ア　④　　イ　④　　ウ　③　　エ　①　　オ　①

問２　錐体細胞　①，③，④　　かん体細胞　②

問３　④

問４　⑴　⑤，⑥，⑦　　⑵　③，④，⑤，⑥，⑦

　　　⑶　②，③，④

【解説】

問１　網膜を構成する視細胞には，錐体細胞とかん体細胞がある。錐体細胞には青色，緑色，赤色の光をよく吸収する色素をもつ３種類があり，これらの細胞は，黄斑と呼ばれる網膜の中心部付近に多く存在している。一方のかん体細胞は１種類しかなく，網膜の周辺部に存在している。それぞれの視細胞の興奮は，連絡神経細胞を介して視神経細胞に受け渡され，視神経細胞の軸索は集合して網膜の一箇所から網膜を貫いて眼球の外に出る。この部分は盲斑と呼ばれる。

問２　ヒトの眼で受容できる波長を可視光といい，およそ380nm～780nmの波長の光がこれにあたる。青錐体細胞の吸光極大は425nm，緑錐体細胞が530nm，赤錐体細胞が560nmとなる。ゆえに，錐体細胞が示す波長感受性を表す曲線は①③④となる。また，かん体細胞の吸光極大はおよそ500nmであり，その波長感受性をあらわす曲線は②となる。

問３　盲斑には視細胞が分布しないため，盲斑に光が到達しても受容されない。記録用紙のAB間の距離は。11.2－8＝3.2cmであり，眼球の大きさは25mmである。眼球の奥行と盲斑の直径は，記録用紙までの距離とAB間の距離の関係に等しいので，盲斑の直径をx mmとすると，$25:x=50:3.2$ が成り立つ。これを解くと$x=1.6$mmと求められる。

問４　水晶体によって像は反転しているため，左目の網膜には左側から⑦～②の像が，右目の網膜には左側から⑧～③の像が写る。外側（耳側）の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維は交差せずに同じ側の脳に，内側（鼻側）の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維は視交さで交差して逆側の脳に連絡する。

⑴　左目では②～⑦の６枚が見える。視神経は多少鼻寄りに出ているが，この場合は外側と内側の網膜で３つずつ受容していると考えるのが妥当であろう。左目の外側の網膜では⑤⑥⑦の書かれた紙が，内側の網膜では②③④の書かれた紙の像は受容されている。外側（耳側）の網膜で受容された興奮を受けた視神経は交叉せずに同じ側の脳に連絡するため。⑤⑥⑦が左脳の視覚野に提示されていると考えられる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑵　視交さで交差している神経繊維のみが切断された場合，外側（耳側）の網膜で受容された興奮を受けた神経繊維のみが脳に連絡することになる。その場合，⑴より，左目では⑤⑥⑦の紙を見ることができる。右の眼球の外側（耳側）の網膜では③④⑤の像が受容されていることから，右眼では③④⑤を見ることが出来る。これらを合わせて，③④⑤⑥⑦が正解となる。

⑶　左の視索が切断された場合，左目からは，左目の内側（鼻側）の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維のみが脳に連絡することになる。この視神経繊維は②③④を伝えているため，この場合に左目で見ることが出来る番号は②③④となる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。